

## PROPOSTA DE UMA ABORDAGEM PARA AVALIAÇÃO E CONTROLO DOS RISCOS ASSOCIADOS AO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS PARA UTILIZAÇÃO NA REGA DE CAMPOS DE GOLFE

Ana PEREIRA (1); Maria João ROSA (2); Sílvia QUADROS (3)

### Resumo

O presente trabalho pretendeu contribuir para o desenvolvimento de um novo instrumento que permita aumentar a fiabilidade do tratamento de águas residuais e assim garantir os padrões de qualidade e segurança da água reutilizada na rega de campos de golfe. Para o efeito, propôs-se uma abordagem que integra a Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controlo (*Hazard Analysis and Critical Control Points – HACCP*) do processo de tratamento de águas residuais com a avaliação dos riscos da utilização da água residual tratada na rega de campos de golfe. Esta abordagem foi testada numa ETAR urbana com selector biológico, tratamento secundário por biomassa suspensa com a possibilidade de remover nutrientes (configuração modificada do processo A<sup>2</sup>O) e desinfecção por radiação UV. Foram identificados os perigos e respectivos pontos críticos de controlo (PCC) do tratamento, definidos limites de alerta e limites críticos e avaliados os riscos do produto final.

Constatou-se que a abordagem proposta é muito útil não só na elaboração da matriz de controlo da ETAR e na minimização dos riscos, mas também ao nível da organização do processo de gestão da ETAR. Porém, a sua completa aplicação e eficiente utilização requer mais estudos dose-resposta sobre os impactos gerados pela utilização da água residual tratada na rega de campos de golfe, ainda insuficientes na literatura.

### Palavras-chave

avaliação do risco, metodologia HACCP, rega de campos de golfe, reutilização de água, tratamento de águas residuais urbanas

---

(1) Eng.<sup>a</sup> do Ambiente, Mestre em Engenharia do Ambiente, Técnica de Saneamento da Águas do Algarve, S.A., Direcção de Operações de Saneamento, Rua do Repouso, 10, 8000-302 Faro, [a.pereira@aguasdoalgarve.pt](mailto:a.pereira@aguasdoalgarve.pt)

(2) Eng.<sup>a</sup> Química, Doutora em Engenharia Química, Investigadora Principal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P., Departamento de Hidráulica e Ambiente, Núcleo de Engenharia Sanitária, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, [mjrosa@lnec.pt](mailto:mjrosa@lnec.pt)

(3) Eng.<sup>a</sup> do Ambiente, Mestre em Engenharia Sanitária, Assistente da Universidade dos Açores, Departamento de Ciências Agrárias, *Campus* de Angra do Heroísmo, 9701-851 Angra do Heroísmo, [squadros@uac.pt](mailto:squadros@uac.pt)

## **1. INTRODUÇÃO**

O crescente interesse na utilização de águas residuais tratadas como fonte alternativa de água em todo o mundo, e em Portugal, em particular, na rega de campos de golfe, conduziu à necessidade de aumentar o nível de segurança e a qualidade do produto final. Porém, os meios actuais de avaliação e controlo do processo de tratamento para garantia da qualidade da água residual tratada e da segurança dos seus utilizadores são ainda escassos e dispersos.

A avaliação de desempenho constitui um instrumento útil para a gestão dos serviços de águas residuais em geral e das estações de tratamento de águas residuais (ETAR) em particular, com vista a aumentar a eficácia, eficiência e fiabilidade do tratamento e, consequentemente, a qualidade da água tratada. No entanto, os sistemas de avaliação de desempenho de ETAR actualmente disponíveis abordam insuficientemente os aspectos de desempenho operacional subjacentes à produção segura de água de qualidade. Estudos recentes (Westrell *et al.*, 2004; Van Oorscho *et al.*, 2007) apontam para as grandes potencialidades da aplicação da Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controlo (*Hazard Analysis and Critical Control Points – HACCP*) ao tratamento de águas residuais, mas a sua aplicação para avaliação e controlo dos riscos quando há reutilização de água não se encontra ainda devidamente desenvolvida e consolidada.

O presente trabalho tem como objectivo contribuir para o desenvolvimento de um instrumento de avaliação e controlo dos riscos associados ao tratamento de águas residuais urbanas para reutilização da água na rega de campos de golfe, que permita aumentar a confiança dos utilizadores na qualidade da água residual tratada e, em consequência, promover a sua adesão a projectos de reutilização de água, incontornáveis em face das recentes exigências das declarações de impacte ambiental de novos campos de golfe.

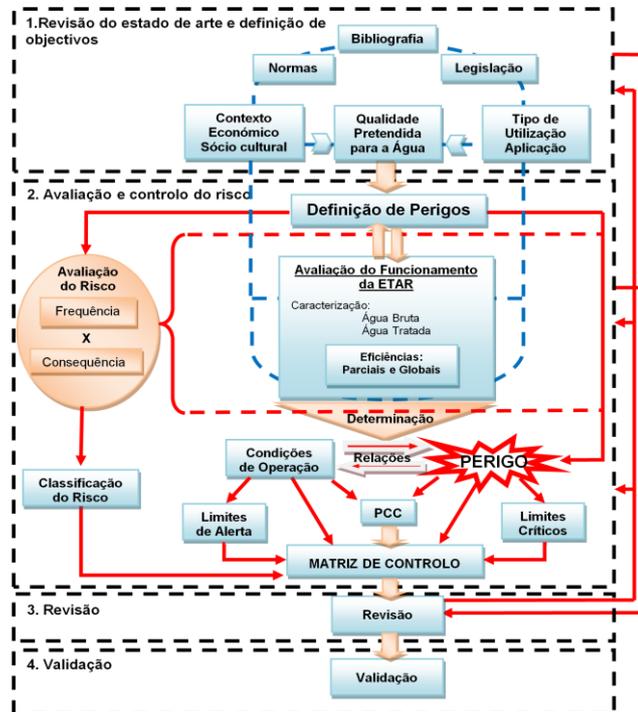
Para o efeito, desenvolveu-se e testou-se, numa ETAR de média dimensão com remoção biológica de carbono, azoto e fósforo e desinfecção, uma abordagem que integra a avaliação do funcionamento de ETAR urbanas que produzem água para reutilização, a aplicação da metodologia HACCP ao processo de tratamento e a avaliação dos riscos da utilização da água residual tratada na rega de campos de golfe. Não obstante ter sido concebida para a utilização da água residual tratada na rega de campos de golfe – uma utilização estratégica para o desenvolvimento do turismo e da economia Portuguesa – a abordagem proposta pode ser adaptada a outras utilizações.

Na presente comunicação apresenta-se a abordagem proposta e os resultados da sua aplicação ao caso de estudo.

## **2. ABORDAGEM PROPOSTA DE AVALIAÇÃO E CONTROLO DOS RISCOS**

A abordagem proposta é constituída por quatro módulos ou fases: (i) revisão do estado da arte e definição de objectivos; (ii) avaliação e controlo dos riscos; (iii) revisão e (iv) validação (Figura 1). A primeira fase (*Revisão do estado da arte e definição de objectivos*) é de planeamento e é onde devem ser definidos os critérios e os objectivos que se pretende alcançar, ou seja, o(s) uso(s) que se pretende dar à água tratada

(produto final) e a qualidade (parâmetros e limites críticos) associada. Essa definição deverá basear-se na legislação em vigor, normas, bibliografia e contexto económico e sócio-cultural do(s) uso(s). Os parâmetros considerados na qualidade da água tratada definem os *perigos* do sistema de tratamento, uma vez que são o que eventualmente poderão não ser cumpridos (Queensland EPA, 2005).



**Figura 1.** Abordagem proposta de avaliação e controlo dos riscos associados ao tratamento de águas residuais urbanas para reutilização da água

A segunda fase corresponde à *Avaliação e controlo dos riscos* (Figura 1). Através da análise dos dados históricos de funcionamento da ETAR (características da água bruta, características da água tratada, eficiências parciais e globais de remoção) determinam-se as condições de operação (de funcionamento dos órgãos ou de qualidade da água) que afectam os perigos e os pontos críticos para o seu controlo (PCC). A análise do histórico permite ainda efectuar uma avaliação dos riscos associados aos perigos identificados, através do produto da frequência pela consequência do perigo em avaliação. Em resultado desta avaliação, classificam-se os riscos e elabora-se a *matriz de controlo* da ETAR para os riscos considerados significativos (com classificação superior a médio numa escala de baixo a extremo). Esta matriz resume os PCC, os limites críticos e os limites de alerta a controlar e respectiva(s) acção(ões) correctiva(s) e/ou preventiva(s).

Para a avaliação da aceitabilidade dos riscos calculados, utilizou-se a classificação de ALARP baseada no princípio *As Low As Reasonably Practicable*.

Os PCC podem ser identificados a partir da aplicação da árvore de decisão do *Codex Alimentarius*. Os *limites críticos* são definidos pelos próprios perigos e correspondem ao nível máximo de risco aceitável. Os limites máximos das condições de operação que afectam os perigos constituem os *limites de alerta*, ou seja, os limites a partir dos quais

se deve actuar imediatamente para impedir que a estação fique fora de controlo e sejam atingidos os limites críticos.

A classificação dos riscos permite avaliar a segurança associada à qualidade do produto final e estabelecer os planos de monitorização, que devem incluir monitorização mais frequente para riscos mais elevados e mais espaçada para riscos menores.

Qualquer abordagem de avaliação e controlo do desempenho de um processo e de avaliação e controlo dos riscos associados à utilização do produto final tem de incluir mecanismos que garantam a melhoria contínua do processo e do produto final, em termos de eficácia, eficiência e fiabilidade. Na abordagem proposta, estes mecanismos estão incluídos nas fases de *Revisão* e de *Validação*. O processo de revisão é um processo dinâmico e interactivo com todas as fases anteriores, alimentando e sendo alimentado pelas mesmas. Estabelecendo um paralelo com a metodologia *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) (ISO, 2000), a fase 1 da abordagem proposta corresponde ao Planeamento (*Plan*), a 2 à Acção (*Do*), a 3 à fase Avaliar (*Check*) e a 4 à fase Modificar/Ajustar (*Act*).

A abordagem é explicada em pormenor no capítulo 4 a par da sua aplicação ao caso de estudo, sendo ilustrada através de esquemas-síntese para melhor compreensão.

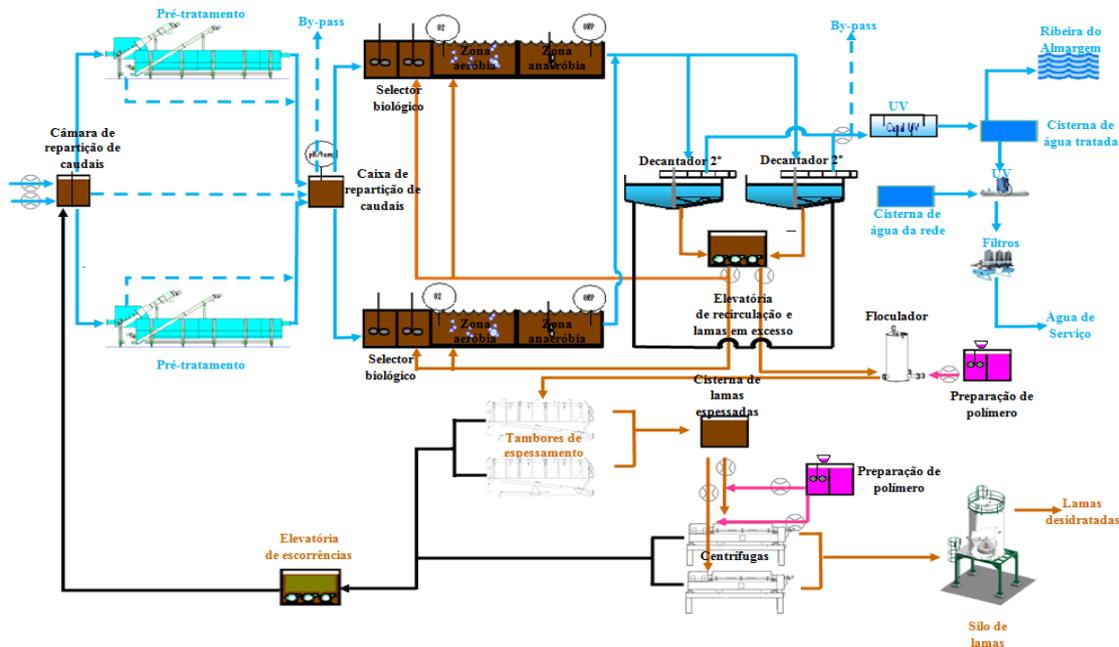
### **3. CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO**

#### **3.1 Capacidade e esquema de tratamento**

A ETAR estudada iniciou o seu funcionamento em Maio de 2007, é uma ETAR de média dimensão destinada ao tratamento de água residual urbana, dimensionada para o tratamento de 12 161 m<sup>3</sup>/d de água residual produzida por 48 152 hab.eq. para o ano horizonte de projecto 2025.

A ETAR é constituída por duas linhas de tratamento para a fase líquida, duas para a fase sólida e uma para o tratamento de odores (Figura 2), constituídas por:

- Tratamento preliminar realizado em órgão compacto (gradagem/tamização, desarenamento e desengorduramento);
- Tratamento biológico em sistema de lamas activadas (com selectores biológicos), em regime de arejamento prolongado, efectuado em reactores do tipo vala de oxidação e decantação secundária;
- Desinfecção final do efluente por radiação UV;
- Afiinação da água a reutilizar através de desinfecção por radiação UV e filtração;
- Espessamento mecânico das lamas e desidratação por centrifugação;
- Desodorização do ar contaminado por biofiltração.



**Figura 2.** Diagrama de fluxos do processo de tratamento da ETAR

A licença de descarga da ETAR contempla os parâmetros  $CBO_5$ , CQO, SST e coliformes fecais e estabelece que aos três primeiros parâmetros se aplica o DL 152/97, de 19 de Junho, enquanto ao quarto parâmetro se aplica o DL 236/98, de 1 de Agosto. No primeiro ano de funcionamento da ETAR, até 04/07/2008, a licença estabeleceu percentagens mínimas de remoção de  $CBO_5$ , CQO e SST de 70%, 75% e 90%, respectivamente. A partir dessa data, a licença impõe valores-limite de 25 mg  $O_2/L$   $CBO_5$ , 125 mg  $O_2/L$  CQO e 35 mg /L SST. Para coliformes fecais, a licença estabeleceu sempre o valor-limite de 2 000 NMP/100 mL.

### 3.2 Dados disponíveis

Além dos valores bibliográficos aplicáveis ao esquema de tratamento instalado e ao tipo de águas residuais tratadas, os dados utilizados para a avaliação do funcionamento da ETAR correspondem aos dados de projecto e aos dados de exploração relativos aos primeiros 20 meses de funcionamento da instalação (20 Abril de 2007 a 30 de Novembro de 2008). Ou seja, além de abranger duas épocas altas, este período de análise coincide com o ano zero de exploração da ETAR.

#### **4. APLICAÇÃO DA ABORDAGEM PROPOSTA AO CASO DE ESTUDO**

A estratégia de tratamento dos dados disponíveis assentou na aplicação dos princípios HACCP e de avaliação dos riscos, seguindo-se, para o efeito a metodologia proposta na Figura 1. A metodologia proposta foi desenvolvida à medida que era aplicada no caso de estudo, ocorrendo inputs recíprocos entre a aplicação e o desenvolvimento.

##### **4.1 Definição de perigo e risco. Identificação de perigos**

O primeiro princípio do processo HACCP consiste na definição e identificação dos perigos e na avaliação dos riscos. *Perigo* consiste em qualquer agente biológico, químico, físico ou radiológico com o potencial para causar danos às pessoas, animais, culturas/plantas, vida aquática, solos e ambiente em geral. A cada perigo está associado um risco. O *risco* calcula-se através do produto de uma probabilidade de ocorrência pela severidade (ou categoria de consequência) de um determinado perigo.

No processo de utilização de água residual tratada na rega de campos de golfe os intervenientes são o solo, sistema de rega, planta/cultura, jogadores, e trabalhadores e, segundo Queensland EPA (2005), perigo é não cumprir a qualidade pretendida para o produto. Através da análise de diversos critérios de qualidade da água residual para rega de campos de Golfe definidos por vários autores, normas recomendações e valores-guia, constatou-se que não existe uniformidade de critérios, tanto ao nível do tipo e número dos parâmetros considerados, como das gamas desejadas para esses parâmetros. Na pesquisa efectuada constatou-se que os parâmetros e gamas variavam consoante a preocupação ou enfoque do estudo. Estudos agronómicos relacionados com a relva sobrevalorizam os aspectos físico-químicos em detrimento dos microbiológicos como por exemplo Harrivandi (2004) que não considera nenhum parâmetro microbiológico ou MEPI (2007) que apenas considera um (coliformes fecais). Por outro lado, outros trabalhos como por exemplo a NP4434 já consideram pelo menos dois parâmetros microbiológicos (ovos de nemátodas intestinais e coliformes fecais).

Alguns autores propõem apenas o cumprimento de quatro parâmetros (Salgot, 2001), enquanto outros prescrevem 33 (Valores-guia de qualidade da água residual tratada para rega na Jordânia JS:893/2002 (WHO:2006)).

Da recolha bibliográfica efectuada constatou-se que na verificação da qualidade da água para reutilização são utilizados 43 parâmetros físico-químicos diferentes. O parâmetro mais requerido pelos diferentes estudos é o pH, sucedido pelos parâmetros SST, SDT, Ecw, Cl, B, Cu, F, Zn. Ao nível microbiológico são requeridos 4 parâmetros diferentes (ovos de parasitas entéricos, ovos de nemátodas intestinais, *Escherichia coli* e coliformes fecais) (Pereira, 2009).

Atendendo às dificuldades de definição da qualidade pretendida para o produto, esta foi estabelecida através de uma análise dos aspectos agronómicos e gerais das várias fontes bibliográficas, tendo sido assumido um conjunto de requisitos-base, dos quais apenas foi possível analisar neste trabalho os contemplados no plano analítico da ETAR, num total de oito parâmetros físico-químicos (pH, CQO, CBO<sub>5</sub>, SST, Turvação, Cl, P-T; N-T) e um microbiológico (Coliformes fecais). A qualidade assumida é genérica,

não tendo em atenção especificidades de determinados tipos de terreno, relva, clima, ecossistema ou sistema de rega.

A avaliação dos riscos associados aos perigos identificados baseou-se numa adaptação das categorias de consequência propostas por Queensland EPA (2005) e Betâmio de Almeida (2008) (Quadro 1) tendo sido consideradas cinco categorias de consequência do perigo (quase nula, marginal, séria, crítica e catastrófica). Estabeleceu-se como *limite crítico* de cada perigo o limite máximo com consequência marginal referido na bibliografia consultada.

**Quadro 1.** Identificação de perigos e proposta de categorias de consequências de perigos associados à utilização da água da ETAR caso de estudo na rega de campos de golfe

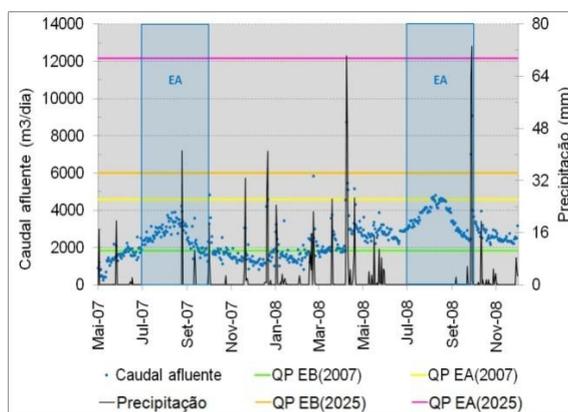
Perigo	Categorias de consequência	Requisitos assumidos	Limite crítico	Perigo	Categorias de consequência	Requisitos assumidos	Limite crítico
<b>Parâmetros Físico-químicos</b>							
pH	Quase Nula	[5;7]		CQO (mg/L)	Quase Nula	[0;25]	
	Marginal	]7;9]	[5; 9]		Marginal	]25;100]	100
	Séria				Séria	]100;+∞[	
	Crítica				Crítica		
	Catastrófica				Catastrófica		
CBO5 (mg/L)	Quase Nula	[0;10]		SST (mg/L)	Quase Nula	[0;20]	
	Marginal	]10;30]	30		Marginal	]20;60]	60
	Séria	]30;+∞[			Séria	]60;+∞[	
	Crítica				Crítica		
	Catastrófica				Catastrófica		
Turvação (UNT)	Quase Nula	[0;5]		Cl- (mg/L)	Quase Nula	[0;70]	
	Marginal	]5;10]	10		Marginal	]70;355]	355
	Séria	]10;+∞[			Séria	]355;+∞[	
	Crítica				Crítica		
	Catastrófica				Catastrófica		
P-T (mg/L)	Quase Nula	[0;0,1[		N-T (mg/L)	Quase Nula	[0;1,1[	
	Marginal	[0,1;0,4]	0,4		Marginal	[1,1;11,3]	11,3
	Séria	]0,4;0,8]			Séria	]11,3;22,6]	
	Crítica	]0,8;+∞[			Crítica	]22,6;+∞[	
	Catastrófica				Catastrófica		
<b>Parâmetros Microbiológicos</b>							
<b>Perigo</b>	<b>Categorias de consequência</b>		<b>Requisitos assumidos</b>	<b>Limite crítico</b>			
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	Quase Nula		[0;10]				
	Marginal		]10;100]	100			
	Séria		]100;+∞[				
	Crítica						
	Catastrófica						

#### 4.2 Avaliação do funcionamento da ETAR

O funcionamento da ETAR foi avaliado com base nos valores de exploração relativos aos primeiros 20 meses de funcionamento da instalação e a sua comparação com os valores de projecto (QP – caudal de projecto, VP – valor de projecto) em época alta (EA: Julho, Agosto e Setembro), época baixa (restantes meses), horizonte de projecto (ano 2025), valores típicos bibliográficos e licença de descarga.

#### 4.2.1 Caracterização da água residual bruta

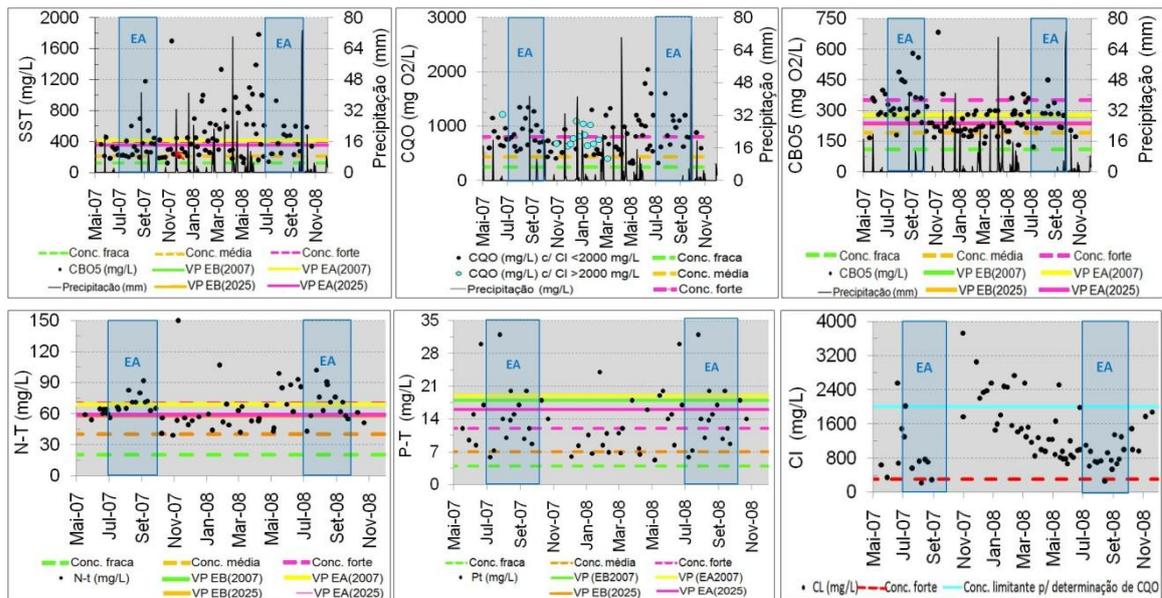
Através da análise do histórico do afluente bruto à ETAR de Almargem verificou-se a existência de sazonalidade ao nível quantitativo e qualitativo. Como se pode constatar através da análise da Figura 3 verificam-se aumentos de caudal na época alta nos meses de Agosto e Setembro e redução na época baixa. São também observados caudais máximos coincidentes com períodos de precipitação intensa, situação característica de uma rede colectora não separativa ou com intrusão de águas de outras fontes. Verifica-se que os valores de caudal registados para 2007 encontram-se dentro dos limites de época alta e época baixa (linha amarela e linha verde) estabelecidos em projecto para o ano zero, o que indica que a ETAR se encontra bem dimensionada em termos de capacidade volúmica para o ano de arranque. No entanto os caudais em 2008 apresentaram reduzido crescimento relativamente ao ano de arranque. Esta situação poderá ficar a dever-se à ETAR ainda não servir toda a área prevista em projecto.



**Figura 3** Caracterização da água residual bruta

Segundo a classificação de Metcalf & Eddy (2003) relativamente às concentrações afluentes, podemos considerar que o afluente bruto apresentou uma concentração média-forte para os parâmetros SST, CQO, CBO5, N-T e P-T. A concentração dos SST, CQO, CBO5 e P-T não apresentaram sazonalidade ao contrário do verificado com o azoto total, para o qual se registaram valores mais elevados na época alta (Figura 4).

Uma vez que parte da bacia de drenagem da ETAR se desenvolve em zona litoral, ao nível do mar, foi analisado o teor de cloreto da água residual bruta, de forma a avaliar a introdução de água salgada no sistema. Verificou-se uma grande dispersão de valores ao longo do período em análise, com valores máximos e mínimos de respectivamente 3722 e 220 mg/L. A concentração de cloreto apresentou sazonalidade inversa ao N-T, ou seja aumentou na época baixa e diminuiu na época alta, possivelmente consequência da diluição causada pelo aumento de caudal na época alta (Figura 4).



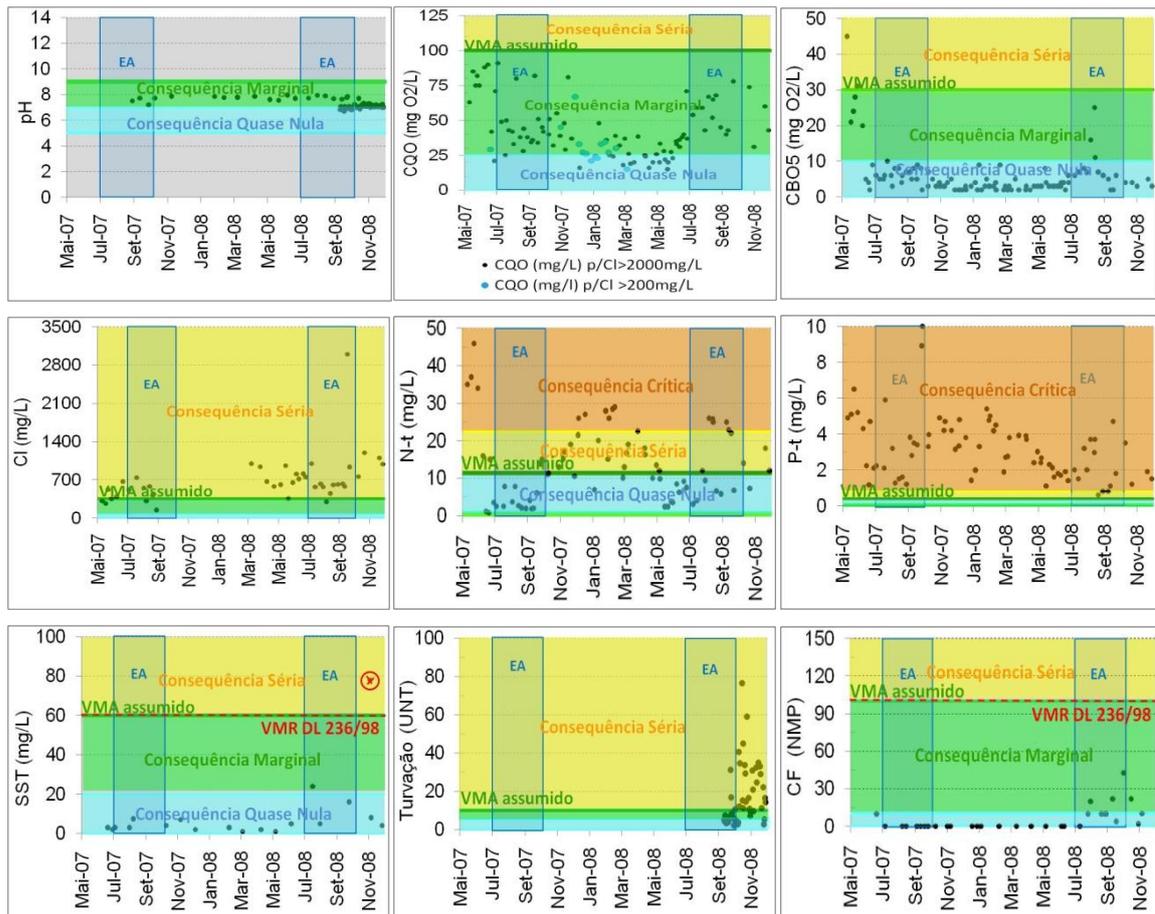
**Figura 4** Caracterização da água residual bruta

#### 4.2.2 Caracterização da água residual tratada face aos objectivos de qualidade para utilização na rega de campos de golfe

A Figura 5 caracteriza a água residual tratada face aos objectivos de qualidade para reutilização na rega de campos de golfe definidos no Quadro 1. Na Figura 5 o limite crítico é definido por VMA assumido (valor máximo assumido - linha verde). As bandas de cores correspondem às categorias de consequência dos perigos de acordo com a aceitabilidade do risco baseadas no princípio de Alarp e matriz de análise de risco proposta na secção 4.3, Figura 7.

Através da análise da figura 5 constata-se que a água tratada apresentou valores pH, SST, CQO, CBO<sub>5</sub> e coliformes fecais inferiores ao VMA assumido, ou seja abaixo do valor crítico. Os valores de N-T oscilaram entre valores superiores e inferiores ao limite crítico (VMA assumido: 11,3 mg/L), enquanto o fósforo total apresentou sempre concentrações superiores ao limite crítico (VMA assumido: 0,4 mg/L).

A turvação apresentou valores superiores ao limite crítico, assim como os valores de cloreto.



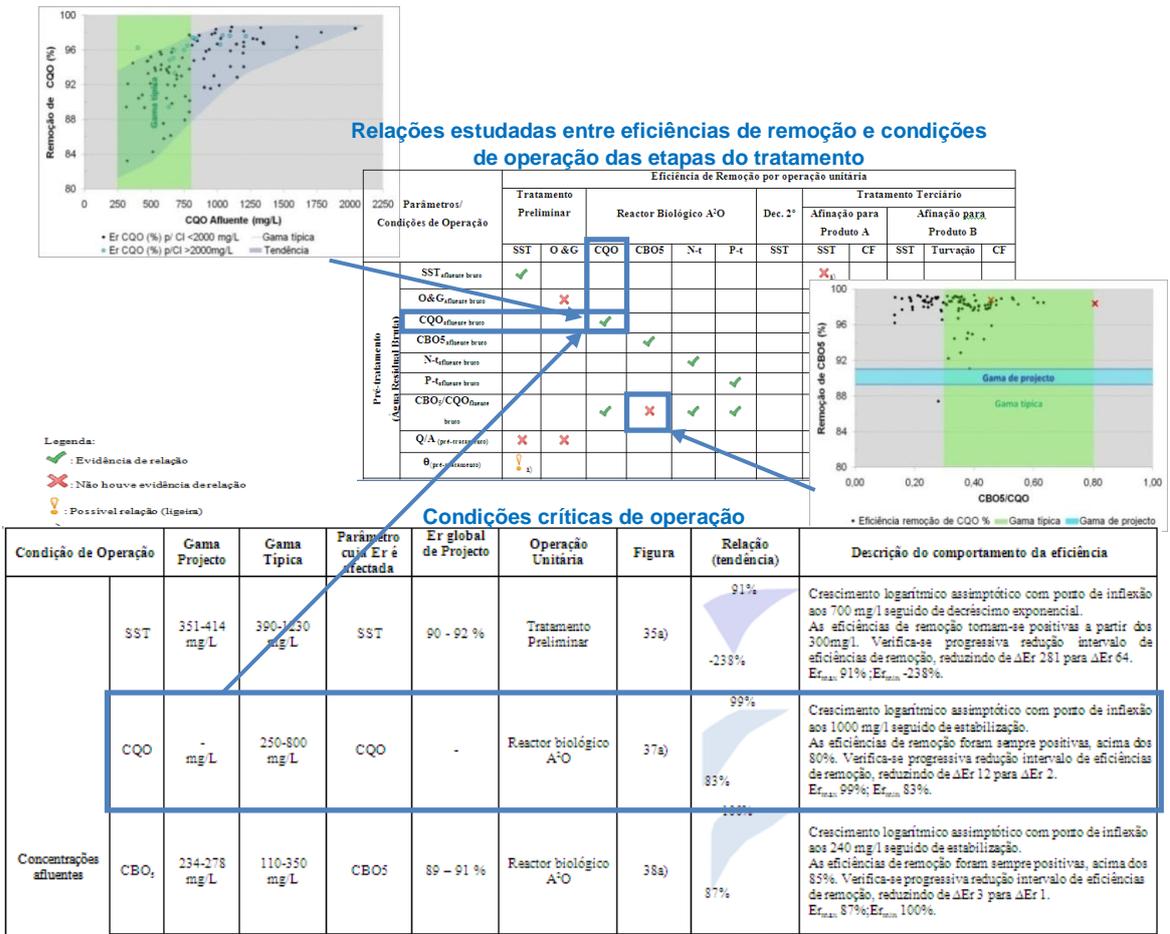
**Figura 5** Caracterização da água para reutilização nos parâmetros analisados

### 4.2.3 Determinação das condições críticas de operação

A determinação das condições críticas de operação envolveu a avaliação prévia do funcionamento das várias etapas do processo de tratamento através do cálculo das eficiências parciais de remoção/inativação e das condições de operação. Finalmente, pesquisou-se a existência de relações entre as eficiências parciais de remoção/inativação e as condições de operação, de modo a determinar as condições críticas de operação, ou seja, as que afectam os perigos identificados (Figura 6).

Estas condições críticas podem ser condições de operação propriamente ditas (e.g., tempos de retenção, cargas hidráulicas, razões de recirculação, caudais de purga de lamas) ou parâmetros de qualidade da água afluente à ETAR, a uma dada etapa do tratamento (e.g., transmitância/turvação do afluente à desinfecção) ou num reactor (e.g., temperatura, oxigénio dissolvido).

A Figura 6 sistematiza a metodologia seguida para determinação das condições críticas de operação e o Quadro 2 as condições críticas identificadas.



**Figura 6** Esquema-síntese da metodologia seguida para determinação das condições críticas de operação

**Quadro 2** Condições críticas de operação identificadas na ETAR de Almargem

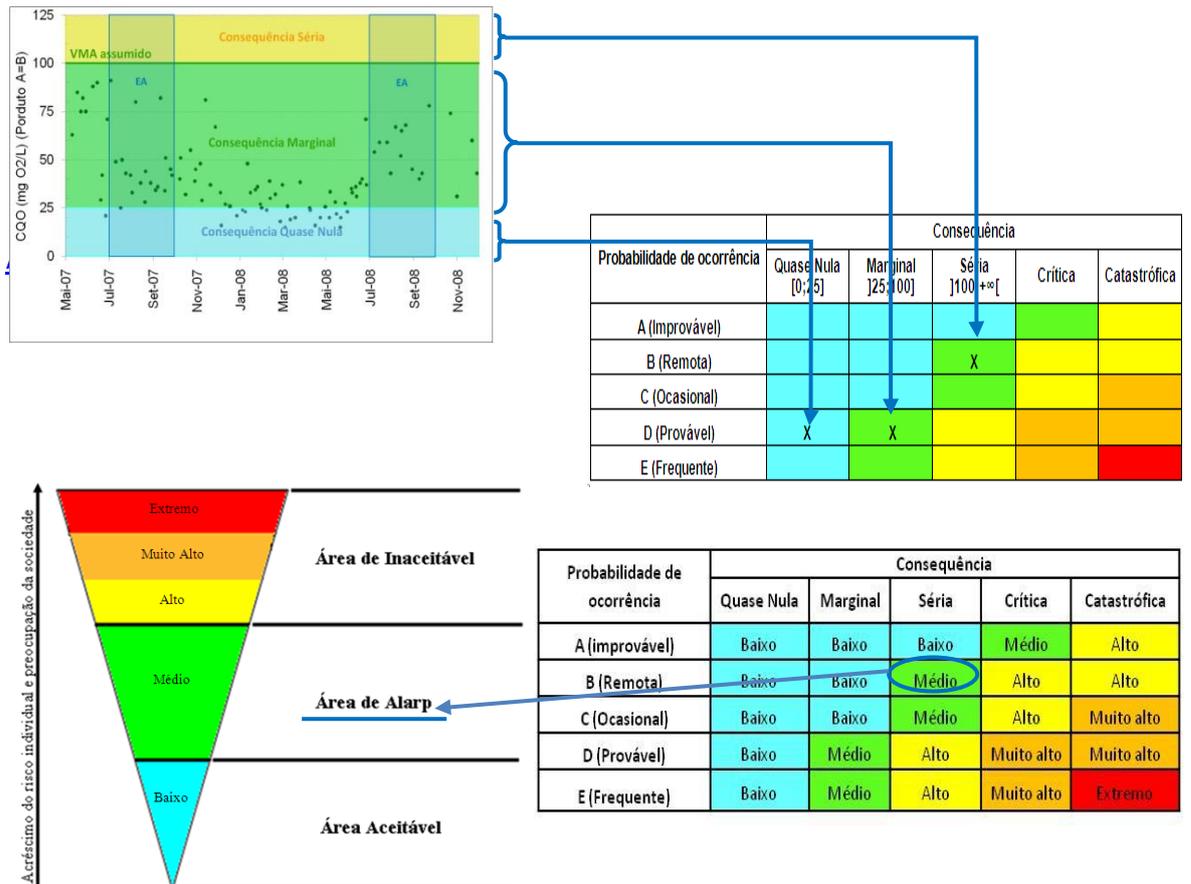
Perigo	Condições de operação que afectam os perigos			
	Etapa do tratamento			
	Água Residual Bruta	Reactor Biológico	Decantador Secundário	Tratamento Terciário Afinação UV + Filtração
pH	pH	-	-	-
Cl <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	-	-	-
Turvação		$\theta$	$\theta$ Q/A Turvação* Transmitância*	-
SST	SST	$\theta^*$	-	-
CQO	CQO CBO <sub>5</sub> /CQO	$\lambda_v$ (CQO) IVL*	-	
CBO <sub>5</sub>	CBO <sub>5</sub>	$\theta$	-	
N-t	N-t CBO <sub>5</sub> /CQO	$\lambda_v$ (CQO) $\lambda_v$ (CBO <sub>5</sub> ) $\theta$ IVL*	-	-
P-t	P-t CBO <sub>5</sub> /CQO	$\lambda_v$ (CQO) $\lambda_v$ (CBO <sub>5</sub> ) $\theta$ IVL* MLSS* MLVSS*	-	-
CF	-	-	-	CF

\* Possível relação com os perigos identificado

### 4.3 Avaliação dos riscos

Com base no histórico disponível, determinou-se o número de ocorrências em cada intervalo de consequência e cruzaram-se a probabilidade de ocorrência com as consequências de cada perigo para a avaliação qualitativa do risco associado. Na Figura 7 representa-se esquematicamente o processo de avaliação do risco e classificação da aceitabilidade

Determinada a classificação do risco, aplicou-se o triângulo de ALARP apresentado na Figura 7.



**Figura 7** Esquema-síntese da avaliação do risco e da sua aceitabilidade

Os riscos classificados como alto, muito alto e extremo (representados nas Figuras 5 e 7 a amarelo, laranja e vermelho, respectivamente) foram agrupados na *Área inaceitável* do triângulo de Alarp, uma vez que se considerou que estes riscos são inaceitáveis para o indivíduo e para a sociedade, pelo que devem ser evitados e controlados. Os riscos classificados como médio (representados a verde nas Figura 5 e 7) foram agrupados na *Área de Alarp* ou área tolerante, pois consistem em riscos que os indivíduos e a sociedade estão dispostos a tolerar, com base num balanço custo-benefício. Na *Área aceitável* do triângulo de Alarp foram incluídos os riscos classificados como baixos (representados a azul nas Figuras 5 e 7), uma vez que foram considerados insignificantes e adequadamente controlados.

A Figura 8 corresponde à proposta de matrizes de avaliação qualitativa dos riscos associados à utilização da água residual tratada.

Probabilidade de ocorrência	Consequência Perigo CI					Probabilidade de ocorrência	Consequência Perigo P-T				
	Quase Nula [0;70]	Marginal ]70;365[	Séria ]365;+∞[	Crítica	Catastrófica		Quase Nula [0;1;0,4]	Marginal ]0;0,1[	Séria ]0,4;0,8]	Crítica ]0,8;+∞[	Catastrófica
A (Improvável)						A (Improvável)					
B (Remota)	X					B (Remota)	X	X			
C (Ocasional)		X				C (Ocasional)			X		
D (Provável)			X			D (Provável)				X	
E (Frequente)						E (Frequente)					

Probabilidade de ocorrência	Consequência Perigo N-T					Probabilidade de ocorrência	Consequência Perigo CF				
	Quase Nula [1,1;11,3]	Marginal ]0;1,1[	Séria ]11,3;22,6]	Crítica ]22,6;+∞[	Catastrófica		Quase Nula [0;10]	Marginal ]10;100]	Séria ]100;+∞[	Crítica	Catastrófica
A (Improvável)						A (Improvável)					
B (Remota)						B (Remota)			X		
C (Ocasional)		X				C (Ocasional)		X			
D (Provável)	X		X	X		D (Provável)	X				
E (Frequente)						E (Frequente)					

**Figura 8** Exemplo de matrizes propostas para a avaliação qualitativa do risco associados à utilização de residual tratada.

#### 4.4 Identificação dos pontos críticos de controlo e dos pontos de controlo da qualidade

Na secção 4.2.3 identificaram-se as condições críticas de cada etapa do tratamento (Quadro 2) para os perigos identificados. Com base na árvore de decisão do Codex Alimentarius verificou-se se as condições críticas do processo correspondem a PCC ou PCQ.

Constatou-se que o reactor biológico, a decantação e o tratamento terciário constituem PCC, uma vez que são fases operacionais críticas do processo onde é possível monitorizar, corrigir e controlar os riscos, classificados como inaceitáveis para fósforo total e azoto total (Figura 8). A afluência de água residual bruta constitui um ponto de controlo da qualidade (PCQ), uma vez que é essencial para a garantia do processo, mas não permite acções de correcção.

#### 4.5 Matriz de controlo dos riscos

De acordo com o processo HACCP devem ser definidas medidas de controlo para cada ponto crítico de controlo, que poderão ser utilizadas para ajustar a eficiência do processo de produção ou passo do processo, de forma a atingir-se a qualidade pretendida. Deverão também ser estabelecidos limites críticos ou de alerta para os parâmetros e/ou condições de operação, estes limites deverão ser mensuráveis e controláveis e permitir que a instalação funcione normalmente.

Devem ser tomadas acções preventivas de forma a evitar que os limites críticos sejam excedidos. Se o limite crítico é excedido, considera-se que a instalação está “fora de controlo” e são necessárias acções correctivas. Nesse caso, a situação deverá ser reportada às partes interessadas, informando-as qual o perigo a que estão expostas e

eventualmente interromper o fornecimento se assim estiver estabelecido no contrato de fornecimento de água para reutilização.

Quando é atingido o limite de alerta deveram ser reforçadas as medidas preventivas.

De forma a garantir a qualidade de todo o processo deve ser aplicado um sistema de monitorização adequado à qualidade e segurança pretendida.

Atendendo aos requisitos estabelecidos pelo processo HACCP, criou-se uma matriz de controlo dos riscos associados à utilização da água tratada da ETAR na rega de campos de golfe com os limites de alerta, sistemas de monitorização e acções preventivas e correctivas.

Como limite crítico assumiu-se a qualidade pretendida para o efluente final (Quadro 1). Os limites críticos nunca deveram ser ultrapassados. Considerou-se como limite de alerta todas as condições de operação associadas ao processo de tratamento que podem provocar alteração no nível de risco. As acções correctivas e preventivas associadas a determinado perigo podem ser efectuadas directamente no perigo ou sobre os parâmetros e condições de operação que afectam o perigo.

As medidas preventivas e acções correctivas adoptadas foram estabelecidas com base no histórico de funcionamento da instalação, em dados de projecto e em outras características específicas da ETAR e em dados bibliográficos.

Para a determinação da periodicidade de monitorização considerou-se que: i) perigos com risco associado “alto” e condições de operação que os afectam devem ser monitorizados duas vezes por semana; ii) perigos com risco associado de “muito alto” e condições de operação que os afectam devem ser monitorizados diariamente. Para os coliformes fecais considerou-se necessário efectuar uma amostragem diária, pelo perigo biológico que constitui em termos de saúde pública.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A metodologia proposta de avaliação e controlo dos riscos associados ao tratamento de águas residuais urbanas para reutilização constitui, no essencial, uma abordagem análoga aos planos de segurança da água para consumo humano. Ou seja: (i) em função do(s) uso(s) da água tratada, identificam-se os perigos e definem-se os limites críticos; (ii) através da avaliação do funcionamento da ETAR avaliam-se os riscos, identificam-se os PCC e os limites de alerta e definem-se as medidas preventivas e correctivas – informação resumida na matriz de controlo da ETAR; (iii) implementam-se práticas de gestão que asseguram a melhoria contínua do processo de tratamento e do produto final. Neste trabalho procurou-se inovar ao nível dos procedimentos de avaliação do funcionamento da ETAR. Estes procedimentos constituíram uma fase preliminar do desenvolvimento de um sistema de avaliação de desempenho operacional de ETAR (Quadros *et al.*, 2010), que permite identificar os PCC e estabelecer os limites para as condições críticas de operação que garantem a produção eficaz, eficiente e segura de água residual tratada para utilização, por exemplo, na rega de campos de golfe.

## **AGRADECIMENTOS**

As autoras agradecem à Eng.<sup>a</sup> Helena Alegre (LNEC, I.P.) e à Dra. Rosário Coelho (Águas do Algarve, S.A.) o estímulo e os importantes contributos para o presente trabalho.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Betâmio de Almeida, A. (2006) PowerPoint da aula: *Segurança e risco. Instalações Hidroeléctricas*. IST

Harivandi, A. M. (2004). *Evaluation Recycled Waters for Golf Course Irrigation*.

ISO (2000). *ISO 9000: Quality management systems – Requirements*. International Organization for Standardization, Genève.

MEPI (2008) Internet Site: <http://english.sviva.gov.il> consultado em Março 2008.

Metcalf & Eddy (2003). *Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse*. 3rd edition. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.

NP 4434 (2005). **Reutilização de águas residuais tratadas para rega. Instituto Português da Qualidade.**

Pereira A. (2009). Avaliação de desempenho operacional de estações de tratamento de águas residuais como instrumento associado à reutilização da água na rega de campos de Golfe. Dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente. Universidade do Algarve, Faro.

Quadros S., Rosa M. J., Alegre H. (2010). Avaliação de desempenho operacional de ETAR urbanas. In Anais do 14.º ENaSB/14.º SILUBESA. Porto. 15 pp.

Queensland EPA (2005). *Queensland Water Recycling Guidelines*. Queensland Government - Environmental Protection Agency. Brisbane, Australia

Salgot, M. (2001). Utilization de aguas recicladas en campos de golf. I Simposio de Golf, à agua y Medio Amniente. La Manga.

Van Oorschot R., French C., Vincent D., Nadebaum P. (2007). *HACCP Principles in Wastewater Treatment*. GHD Pty Ltd. Cidade, Australia.

Westrell T., Schönning C., Stenström A. T., Ashbolt N. J. (2004). QMRA (quantitative microbial risk assessment) and HACCP (hazard analysis and critical control points) for management of pathogens in wastewater and sewage sludge treatment and reuse. *Water Science & Technology* 50(2), 23-30.

WHO (2006). A compendium of standards for wastewater reuse in Eastern Mediterranean Region. WHO, Copenhagen.